

ISOLEREN: MINDER ENERGIE OF MEER COMFORT?

Hoe beter een woning geïsoleerd is, hoe minder energie er nodig is om het binnen behaaglijk warm te maken. Minder energie nodig, dat betekent: goedkoper! Tot daar het ideale scenario. Helaas, de gemiddelde bewoner zal van die goedkopere verwarming gebruik maken om méér te verwarmen: meer kamers, warmere kamers,... Zo wordt de energiebesparing door het plaatsen van isolatie heel wat kleiner dan verwacht.



Figuur 1 Het isoleren van een woning levert niet altijd de verwachte besparingen op. Door het (al dan niet gewild) stijgen van de gebouwgemiddelde temperatuur wordt immers een rebound effect gecreëerd dat een deel van de besparing teniet doet.

De mondiale bezorgdheid over de klimaatverandering resulteerde in 1997 in het Verdrag van Kyoto. Onder de 165 landen die het verdrag tekenden bevond zich ook België, dat zich engageerde om de uitstoot van broeikasgassen met 7.5% te verminderen ten opzichte van het niveau van 1990. Om dat te realiseren wordt door de beleidsmakers vaak nadrukkelijk in de richting van de bouwsector gekeken. Dat is begrijpelijk. De residentiële sector is immers verantwoordelijk voor ongeveer 28% van het jaarlijkse eindenergieverbruik in ons land. Deze energie wordt hoofdzakelijk gewonnen uit de verbranding van fossiele brandstoffen, met de nodige CO₂-uitstoot als gevolg. Bovendien is het besparingspotentieel groot: vele gebouwen zijn oud en, naar de huidige normen, energieverslindend. Hoewel de technische kennis voorhanden is, is het ten volle benutten van dit besparingspotentieel echter niet evident. Daar

zijn twee oorzaken voor. Ten eerste is het residentiële gebouwenbestand een uitermate inert systeem: een volledige vernieuwing van het gebouwenpark heeft een termijn van zowat 70 tot 80 jaar [1]. Ten tweede blijkt dat een efficiëntieverhoging van de woning, zoals bijvoorbeeld door het plaatsen van isolatie, zelden de verwachte energiebesparing oplevert. Dat fenomeen is bekend onder de naam “*rebound effect*”.

Hoe werkt het rebound effect?

In principe betekent rebound effect “het functioneren van markteconomieën waar efficiëntieverhogingen overgecompenseerd worden door groei-effecten”. Een vrij vage definitie dus, die best kan verduidelijkt worden aan de hand van volgende redenering.

Veronderstel een verbetering van de efficiëntie waardoor er minder energie nodig is om eenzelfde prestatie te leveren b.v. een auto kan een bepaalde afstand afleggen met minder brandstof. Hierdoor zal het goedkoper worden om met die efficiëntere auto een bepaalde afstand af te leggen. Passen we hierop de basiswet van de economie toe, dan zal de vraag naar zich verplaatsen meteen stijgen. Of met andere woorden, omdat de verlaagde kostprijs het toelaat, zullen we meer kilometers rijden met de efficiëntere auto. Een rebound effect dus.

Rebound effecten komen echter niet enkel in de transportsector voor. We vinden het namelijk ook terug bij het verwarmen van woningen. Doordat het na een energie-efficiënte ingreep goedkoper wordt om in de woning te verwarmen, zullen de bewoners (onbewust) meer comfort verlangen en daardoor een deel van de theoretisch mogelijke energiebesparing teniet doen. Een rebound effect van bijvoorbeeld 10% betekent dan dat 10% van de oorspronkelijk beoogde energiebesparing niet gehaald wordt, louter omwille van de verhoogde energieconsumptie.

De bovenstaande redenering lijkt aannemelijk, maar de vraag is uiteraard wat we hiervan in de realiteit terug vinden.

Het rebound effect in realiteit

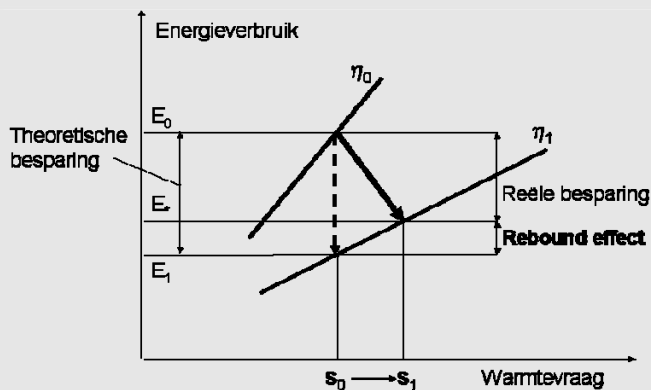
Vele milieu-economen hebben reeds onderzoek gedaan naar het (economische) rebound fenomeen. Het zijn voornamelijk empirische onderzoeken, waarbij men op basis van populatiegegevens en econometrische analyses tracht te achterhalen hoe groot het rebound effect is. Dat ze het niet altijd eens zijn over de precieze omvang ervan, blijkt uit tabel 1. Deze verschillen hangen samen met het empirische karakter van de reboundschatting. Iedereen gaat immers uit van bepaalde modellen, waar (belangrijke) veronderstellingen aan vast hangen. Afhankelijk van de factoren die meegenomen worden, bekomt men verschillende resultaten. Over één ding zijn ze het allen wel eens: het rebound effect bestaat en heeft gevolgen voor het energiebesparingsbeleid.

Auteur	Grootte rebound effect
Binswanger [4]	5 – 50%
Dubin, Miedema&Chandran [5]	8 – 13%
Hirst [6]	5 – 25%
Schwartz&Taylor [7]	1 – 3%
Haas&Biermayr [2]	20 – 30%

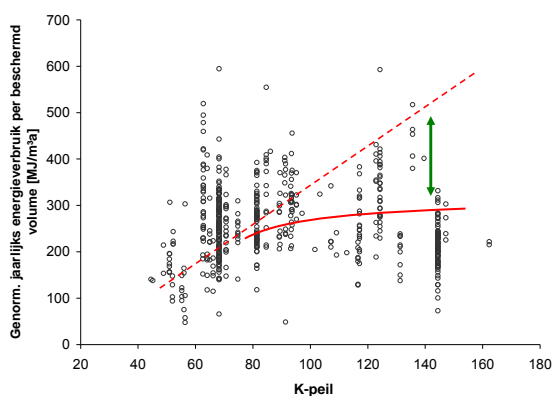
Tabel 1: Schatting van de grootte van het rebound effect door verschillende onderzoekers.

Het rebound effect grafisch

Een visuele voorstelling kan helpen om het mechanisme achter het rebound effect te begrijpen. We zien immers dat, bij een overgang van een laag efficiëntieniveau η_0 naar een hoog efficiëntieniveau η_1 , de vraag s_0 door de verlaagde kostprijs zal stijgen tot s_1 . In plaats van de theoretische energiebesparing $E_0 - E_1$, halen we dus slechts een besparing van $E_0 - E_x$. Het deel dat verloren is gegaan door de gestegen vraag, is te wijten aan het rebound effect [2].



In het kader van deze studie werd een nieuw onderzoek gevoerd op basis van gegevens van de sociale huisvestingsmaatschappij “Zonnige Kempen”. Kijken we naar de jaarlijkse energieverbruiken van elke woning i.f.v. haar isolatiekwaliteit (K-peil) zoals te zien op figuur 2, dan verwachten we energieverbruiken die evenredig stijgen mee met de afnemende isolatiekwaliteit. Immers, hoe slechter een woning geïsoleerd is, hoe groter het energieverbruik zou moeten zijn. Dit is duidelijk niet het geval. De slecht geïsoleerde woningen (met een hoge waarde van het K-peil) tonen immers energieverbruiken die duidelijk *lager* liggen dan men op basis van evenredigheid mag verwachten. De reden hiervoor is dat de bewoners van deze woningen - willen ze hun verwarmingskost binnen de perken houden - gedwongen worden om zuinig te stoken. Dat zuinig stoken vertaalt zich in minder kamers verwarmen, lager ingestelde binnentemperaturen, inkorting van de verwarmingsduur etc.



Figuur 2 Het jaarlijks energieverbruik i.f.v. het K-peil (=maat voor isolatiekwaliteit: slechte kwaliteit betekent hoog K-peil). Het zuinige stookgedrag van de slecht geïsoleerde woningen is duidelijk merkbaar door het afwijken van de evenredige relatie tussen energieverbruik en K-peil (zie pijl).

Wat heeft dit zuinig stookgedrag nu te maken met het rebound effect? Zeer veel eigenlijk, aangezien het aan de basis ligt ervan. Zoals gezegd betekent zuinig stoken inbinden op comfort. Daalt nu de kostprijs voor dit comfort om een of andere reden (daling brandstofprijzen, plaatsing isolerende

beglazing, hoogrendementsketel), dan zal het voor de bewoners hoogst aantrekkelijk worden om meer comfort te eisen. Daardoor wordt uiteraard een deel van de mogelijke energiebesparing teniet gedaan en is het rebound effect een feit.

Uit dezelfde figuur kunnen we afleiden dat de goed geïsoleerde woningen wél mooi de evenredigheid volgen. Zuinig stoken is hier immers niet nodig. Het rebound effect is dan ook een fenomeen dat we hoofdzakelijk terugvinden bij slecht geïsoleerde woningen.

Een gevalstudie op een reële woning vóór en na renovatie leerde ons dat de voorspelde energiebesparingen inderdaad niet gehaald werden. Simulatie van het energieverbruik met de EPB-software (Energie Prestatie Berekening) voorspelde immers een besparing van 47%. In werkelijkheid werd echter slechts 29% gehaald!

Het rebound effect blijkt dus wel degelijk realiteit te zijn. Het is dan ook belangrijk ermee rekening te houden en inzicht te verwerven in de fysieke mechanismen erachter. Het belangrijkste blijkt de rol van de gebouwgemiddelde temperatuur te zijn.

De gebouwgemiddelde temperatuur als boosdoener

Het energieverbruik in woningen wordt in grote mate bepaald door de gebouwschil. Warme lucht verlaat het huis via kieren en spleten en wordt vervangen door koude buitenlucht, die weer opgewarmd moet worden. Belangrijker dan deze ventilatieverliezen is de warmte die de woning verliest via geleiding door de buitenmuren. Tegenover deze verliezen staan de gratis warmtewinsten dankzij bezonning, terwijl ook allerlei interne winsten (verlichting, mensen, ...) mee helpen verwarmen. Verwarming van de woning is niets meer dan compensatie van het verschil tussen de 2 warmteverliezen en de genoemde winsten. Hoe groter de verliezen (bij gelijkblijvende winsten), hoe groter de stookolie- of aardgasfactuur.

Neem nu de geleidingsverliezen. Die hangen niet alleen af van de isolatiekwaliteit van de woning, maar ook van het temperatuurverschil tussen binnen en buiten (zie *kaderstuk*). Dat is logisch: als het buiten vriest en men wil een binnentemperatuur in de leefruimte van 24°C, dan zal dat meer energie vragen dan wanneer men tevreden is met een binnentemperatuur van slechts 19°C.

De geleidingsverliezen van de woning zijn dus zowel afhankelijk van de isolatiekwaliteit van de gebouwschil als van het temperatuurverschil over deze gebouwschil. Het is deze dubbele afhankelijkheid die zorgt voor het rebound effect! Na een renovatie-ingreep (b.v. het plaatsen van dakisolatie) zal immers de gebouwgemiddelde binnentemperatuur stijgen, waardoor het temperatuurverschil over de gebouwschil groter wordt. De winst die men maakt door de verbeterde isolatiekwaliteit, wordt meteen deels teniet gedaan door de stijgende gebouwgemiddelde temperatuur. Bij de gangbare berekeningen wordt echter met deze stijgende temperatuur geen rekening gehouden. Men onderschat daarom de (nieuwe) warmteverliezen door geleiding, wat resulteert in een onderschatting van het energieverbruik na renovatie. De geplande energiebesparing zal dus niet ten volle gerealiseerd worden, het rebound effect is een feit!

De hamvraag is nu natuurlijk: waarom stijgt na een energetische renovatie de binnentemperatuur, of correcter, de *gebouwgemiddelde* binnentemperatuur?

Waarom stijgt de gebouwgemiddelde temperatuur?

Een eerste reden is puur economisch: zoals gezegd maakt de stijging van de energie-efficiëntie van de woning dat het verwarmen ervan goedkoper wordt, wat resulteert in een grotere comfortvraag, in casu minder deelstoken en soms een hogere insteltemperatuur van de thermostaat. Een tweede oorzaak is minder rechttoe rechtaan en vormt een samenspel van deze economische en fysische

factoren. Zelden of nooit wordt een woning, of ze nu uitstekend geïsoleerd is of niet, gedurende het hele stookseizoen in zijn geheel verwarmd worden. Het verwarmingspatroon is wél *intermitterend* (niet-continu in de tijd) en *zonaal* (een beperkt aantal zones verwarmen bijv. enkel de leefruimte). Dit wordt deelstoken genoemd.

Via gebouwsimulaties met het dynamische rekenprogramma TRNSYS is de invloed van dit verwarmingspatroon blootgelegd. Daarvoor is een eenvoudig woningmodel gemodelleerd waarbij de schil verschillende isolatieniveaus (K-peil variërend van K186 tot K28) toegewezen kreeg, terwijl alle andere parameters zoals geometrie en glaspercentage gelijk bleven. De keuze voor een eenvoudig woningmodel eerder dan voor bestaande woningen was trouwens zeer bewust: de eenvoudige geometrie verhoogt het gebruiksgemak en vergemakkelijkt de interpretatie van de resultaten. Het gebruik van een louter fictieve woning is bovendien verantwoord, aangezien het niet de bedoeling is het rebound effect realistisch te kwantificeren, maar eerder om inzicht te verwerven in het fenomeen.

Intermitterend verwarmen

Om de invloed van (enkel) het intermitterend verwarmen te onderzoeken wordt een niet-geïsoleerd (K186) en een zeer goed geïsoleerd (K28) woningmodel, op drie manieren verwarmd:

- Regime A: heel de woning constant op 18°C
- Regime B: heel de woning verwarmd op 18°C tussen 7u en 23u (dag-nachtverlaging)
- Regime C: heel de woning verwarmd op 18°C tussen 7u en 9u en tussen 16u en 23u

Kijken we enkel naar het sterkst intermitterend verwarmingsregime, namelijk regime C, dan kunnen we voor beide uitvoeringen het temperatuursprofiel berekenen van de gebouwgemiddelde binnentemperatuur tijdens een koude winterdag (zie figuur 3).

Geleidingsverliezen van een gebouw

Dat de warmteverliezen door geleiding (Φ_T) zowel afhankelijk zijn van de isolatiekwaliteit (U_m) van de gebouwschil (oppervlakte A_T) als van het temperatuursverschil tussen het gebouw en de buitenomgeving, blijkt uit volgende formule:

$$\Phi_T = U_m A_T (\theta_{\text{gebouw}} - \theta_{\text{buiten}})$$

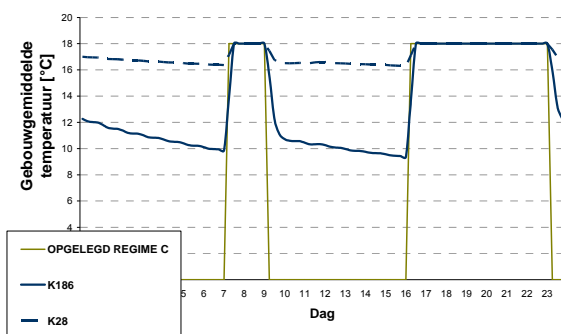
In deze formule is θ_{gebouw} de gebouwgemiddelde temperatuur, een gewogen gemiddelde van alle zonetemperaturen in een gebouw. De weegfactoren zijn zo bepaald dat de gebouwgemiddelde temperatuur ingevuld in bovenstaande formule de correcte geleidingsverliezen van het gebouw geeft.

De U-waarde van een bouwdeel is de grootheid die weergeeft hoeveel warmte er per seconde door één vierkante meter van dat bouwdeel stroomt bij een temperatuursverschil van 1 Kelvin tussen binnen- en buitenkant. Hoe *kleiner* dus de U-waarde, hoe *beter* de isolatiekwaliteit. U_m is het oppervlaktegewogen gemiddelde van de U-waarden van alle bouwdelen van de gebouwschil. Daalt dan $U_m A_T$ door het plaatsen van isolatie, dan blijkt dus uit de berekeningen in TRNSYS dat dit gedeeltelijk tegengewerkt wordt door de stijgende θ_{gebouw} .

Wil men de som van de geleidingsverliezen over een volledig jaar kennen, dan bepaalt men uurlijks de gebouwgemiddelde temperatuur met behulp van een gebouwsimulatieprogramma. Daartoe heeft men natuurlijk uurlijkse waarden nodig voor de buitentemperatuur. Deze vindt men in de zogenaamde referentiejaar (TRY, *Test Reference Year*) die opgesteld zijn voor verschillende steden in de wereld, waaronder Ukkel.

$$Q_{T,\text{jaar}} = \sum_{\text{uur } j=0}^{8760} \Phi_{T,\text{uur } j} \times 3600$$

Men stelt dadelijk vast dat de goed geïsoleerde woning veel minder afkoelt tussen de twee verwarmingsperiodes in. Die afkoeling gebeurt in twee stappen. Een eerste stap is een zeer snelle afkoeling. De weinig capacitieve binnenlucht verliest zijn warmte naar buiten. Tijdens de tweede stap, de trage afkoeling, geven de muren en vloeren hun opgeslagen warmte af.



Figuur 3 Tijdsverloop onder regime C van de gebouwgemiddelde temperatuur op een koude winterdag.

Door de slechtere isolatiekwaliteit van de schil zal in beide stappen de afkoeling van de K186-woning veel groter zijn. Het logische gevolg hiervan is dat de daggemiddelde gebouwtemperatuur van de

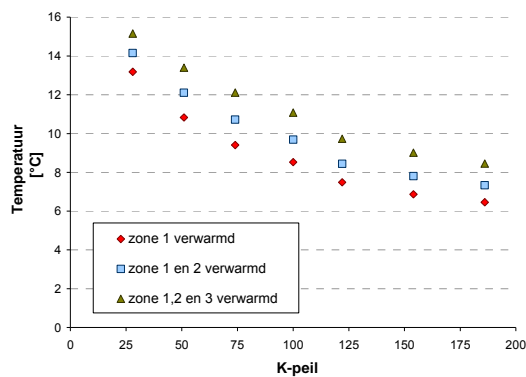
slechtere geïsoleerde woningen lager zal liggen. Deze conclusie kan worden doorgetrokken naar de stookseizoengemiddelde gebouwtemperatuur.

Zonaal verwarmen

De impact van het zonaal verwarmen wordt bekeken door vier jaarsimulaties op het woningmodel uit te voeren, waarbij achtereenvolgens één zone, twee zones, drie zones en tenslotte het hele gebouw (= 4 zones) constant op 18°C verwarmd worden. Interessant is het om te kijken naar de (resulterende) temperatuur in de onverwarmde zones (figuur 4).

Hoe beter de isolatiekwaliteit van de woning, hoe hoger de temperatuur in de onverwarmde zone 4 en hoe meer warmte er via deze onverwarmde zone naar buiten verloren gaat. Waar voordien deze (koude) onverwarmde zone praktisch geen rol speelde in het warmteverlies van de gehele woning, wordt ze na renovatie wél belangrijk.

Vertalen we dit naar de gebouwgemiddelde temperatuur, dan blijkt wederom dat de gebouwgemiddelde temperatuur na renovatie ongewild hoger zal liggen.



Figuur 4 Jaargemiddelde temperatuur in de onverwarmde zone 4 bij constante verwarming van verschillend aantal zones op 18°C.

Link met de economische drijfveer

Uit voorgaande analyse blijkt dat bij intermitterend en zonaal verwarmen de gebouwgemiddelde temperatuur na renovatie omwille van fysische redenen stijgt, waardoor al ongewild een rebound effect ontstaat.

De fysische werking kunnen we echter ook koppelen aan het economische mechanisme van het rebound effect. Het deelverwarmen (intermitterend en zonaal), een energiezuinig en daardoor algemeen toegepast verwarmingsregime, wordt immers minder efficiënt naarmate beter geïsoleerd wordt (figuren 5 en 6). Dit betekent dat het in een goed geïsoleerde woning niet zoveel uitmaakt of er al dan niet zuinig, en dus minder comfortabel, gestookt wordt. Het verschil in energiebesparing met een meer comfortabel –maar dus minder energiezuinig– regime is miniem.

De economische drijfveer is daardoor aanwezig om het oorspronkelijke, zuinige verwarmingsregime te laten varen en te opteren voor meer comfort, waardoor de berekende energiebesparing niet ten volle gerealiseerd wordt.

Niets is zo simpel als het lijkt

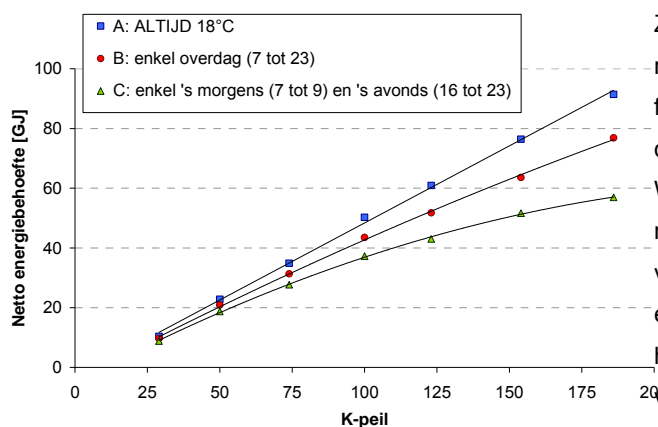
Uit hetgeen voorafgaat zou kunnen geconcludeerd worden dat het mechanisme van het rebound effect behoorlijk eenduidig en algemeen is. Dit is echter niet zo. Hoewel de warmteverliezen door geleiding

een belangrijk facet zijn in de energiehuishouding van een woning, is het zeker niet het enige.

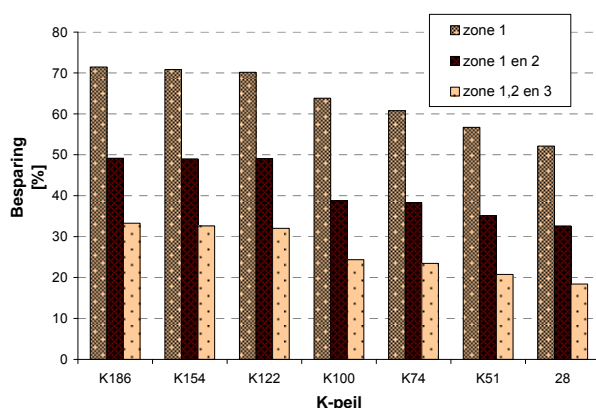
Een eerste moeilijkheid is het samenspel tussen het gebouw en de verwarmingsinstallatie. Deze laatste is in principe zo gedimensioneerd dat ze optimaal kan voldoen aan de warmtebehoefte van het gebouw. Als dan het gebouw energie-efficiënter wordt, daalt de warmtebehoefte zodat de verwarmingsketel minder belast wordt. Dit zorgt ervoor dat bij niet-condenserende ketels het rendement van de ketel daalt. Een isolatie-ingreep op het gebouw zorgt dus in veel gevallen ongewild voor een rendementsdaling van de installatie met als gevolg een kleinere energiebesparing dan verwacht, terug een rebound effect dus.

Een tweede moeilijkheid is het feit dat het rebound effect niet steeds een nadelig fenomeen is. De impact van een renovatie-ingreep kan immers ook *groter* zijn dan door de (gangbare) ingenieursberekeningen werd bepaald.

Indien bij het vervangen van ramen met enkel glas door performantere beglazing, een vaak voorkomende renovatiemaatregel, ook de raamprofielen worden vervangen bijvoorbeeld, heeft dit niet alleen tot gevolg dat de isolatiekwaliteit van de gebouwschil stijgt, maar ook dat de luchtdichtheid van de gebouwschil verbetert. De huidige geplaatste raamprofielen leiden immers tot minder luchtlekken en dus tot een *extra* afname in warmteverlies. Tegelijk valt ook de vaak hinderlijke tocht weg. Waar men vroeger extra moest stoken om deze tocht te compenseren, is dat nu niet meer nodig. Dit alles kan in praktijk een energiebesparing opleveren die *groter* is dan louter berekend op basis van het wijzigende K-peil, of dus een *positief werkend* rebound effect. Eerlijkheidshalve moet erbij verteld worden dat dit geenszins een zekerheid is. Luchtdichtere raamprofielen verminderen de noodzakelijke natuurlijke luchtverversing van de woning, wat ervoor zorgt dat de ventilatie op andere manieren zal geschieden, zoals het frequenter openen van de ramen. Dit leidt op zijn beurt dan weer tot extra energieverbruik.



Figuur 5 Jaarlijkse netto energiebehoefte voor ruimteverwarming met intermitterend verwarmen volgens de regimes A, B en C. Op de figuur is duidelijk te zien dat de daling van de energiebehoefte door meer intermitterend te verwarmen *kleiner* wordt voor woningen met een lager K-peil: de efficiëntie van intermitterend verwarmen neemt dus af.



Figuur 6 De procentuele besparing op netto energiebehoefte van zonaal te verwarmen ten opzichte van het verwarmen van de volledige woning. De besparing wordt *kleiner* voor woningen met laag K-peil, de efficiëntie van zonaal verwarmen neemt af.

Tot slot

Moeten we dan maar met zijn allen stoppen met isoleren? Neen, uiteraard niet. Isoleren is en blijft nog steeds één van de nuttigste manieren om goedkoop energie te besparen. Probleem is dat bij het ramen van het energieverbruik bijna nooit rekening gehouden wordt met een eventueel rebound effect, waardoor het energiebesparingspotentieel in de residentiële sector overschat wordt!

Zoals aangetoond werd hangt een eventueel rebound effect af van een samenspel van vele factoren, waarvan de belangrijkste - het gedrag van de bewoners - zeer moeilijk te kwantificeren valt. Wat misschien wel binnen de mogelijkheden ligt, is rekening te houden met de onvermijdelijke stijging van de gebouwgemiddelde temperatuur na een energie-efficiënte ingreep. Hiervoor is dan wel nog heel wat statistisch onderzoek nodig naar het verband tussen het isolatieniveau van een woning en haar gebouwgemiddelde temperatuur.

Hoewel het exact inschatten van de energiebesparing voor één bepaalde woning altijd een utopie zal blijven, zou het inrekenen van het rebound effect een grote hulp kunnen zijn bij het realistischer beoordelen van het energiebesparingspotentieel van het totale woningenpark in België. Dit is de enige manier om onderbouwde en haalbare doelen te stellen aan de vermindering van de CO₂-emissie in de residentiële sector.

Referenties

- [1] Hens H., Verbeeck G., Verdonck B., 2001, *Impact of energy efficiency measures on the CO₂ emissions in the residential sector, a large scale analysis*, Energy and Buildings 33(3): p. 275-281
- [2] Haas R., Biermayr P., 2000, *The rebound effect for space heating: Empirical evidence for Austria*, Energy Policy 28(6-7): p. 403-410
- [3] Khazzoom J.D., 1980, *Economical Implications of Mandated Efficiency in Standards for Household Appliances*, Energy Journal 1(4): p. 21-40
- [4] Binswanger M., 2001, *Technological progress and sustainable development: what about the rebound effect?*, Ecological Economics 36(1): p. 119-132
- [5] Dubin J.A., Miedema A.K., Chandran R.V., 1986, *Price effects of energy-efficient technologies: a study of residential demand for heating and cooling*, Rand Journal of Economics 17(3): p. 310-325
- [6] Hirst E., 1987, *Changes in indoor after retrofit based on electricity billing and weather data*, Energy Syst. Policy 10(1): p. 1-20
- [7] Schwartz P.M., Taylor T.N., 1995, *Cold hands, warm hearth?: climate, net takeback and household comfort*, Energy Journal 16(1): p. 41-54

De auteurs

Mieke DEURINCK en Wout PARYS zijn in 2007 afgestudeerd als burgerlijk bouwkundig ingenieur, optie gebouwtentechniek. De titel van hun eindwerk is "Het rebound effect". Wout doctoreert nu op de afdeling Bouwfysica van de KULeuven, met als onderzoeksthema een multidimensionele optimalisatie van kantoorgebouwen. Mieke werkt eveneens op de afdeling Bouwfysica als wetenschappelijk medewerker.

Dankwoord

Graag bedanken we onze promotor prof. dr. ir. H. Hens en onze 2 thesisbegeleiders, dr. ir. G. Verbeeck en ir. J. Van der Veken.